

高速追従走行時の危険補償行動の評価

EVALUATION OF RISK COMPENSATION IN CASE OF HIGH SPEED FOLLOWING CAR

田中聖人*

By Seijin TANAKA

The purpose of this research is to evaluate the degree of risk compensation for the following drivers' behaviour with short headways between cars in case of high speeds. To do this, two experiments are done: The first one is to measure the response time of the following drivers. The second experiment is done by using eye-mark camera to measure the eye movement. The results showed that when the headway is short, the response of the driver is faster comparing with the long headway. Also, the percentage of eye-fixation in case of the short headway for the visual angle more than 5° around the break lights is small in comparison with the long headway. Therefore, it is concluded that inspite of there is risk compensation behaviour in the short headway, but the degree of risky is very high.

1. はじめに

高速道路の利用が進展する中で、追突事故の大惨事が頻発し、ドライバーの走行行動の中でも追従時の走行行動が大きな問題となっている。現実の走行状態を見ると、高速での接近した追従走行が常態化し、いつ追突事故が発生しても不思議ではない危険な交通流となっている。追従走行時にドライバーが車間距離を短く設定する(risk taking)背景には、速く行きたいという速度欲求を前車に伝達したいという心理的要因が働いている¹⁾。一方、接近追従走行には常に追突の危険性が存在しているが、ほとんどのドライバーはその危険性を感じている。ちなみに、高速道路でのドライバーへのヒアリングの結果²⁾によれば、非常に危険と感じている

66%、やや危険と感じている26%であった。ドライバーは速く行きたいことを重視しており、追突の危険性を感じながらも接近追従走行をおこなっているといえる。現実には、前車が突然にしかも急激に減速することはほとんど無く、接近追従走行が追突事故に至る確率は極めて小さいが、ドライバーは危険を感じながら接近追従走行していることより、そこには危険を補償するような行動がおこなわれていると考えられる。ドライバーは、接近追従走行に存在する危険を補償するためには、前車に注意を集中させ、また、走行位置を横にずらして前方の状況を把握するなどの行動をとり、前車の減速に対する反応を速めなければならない。

本研究では、危険補償行動の指標として、前車の制動燈点灯に対する反応時間と追従ドライバーの注視行動を取り上げ、これらが車間距離の大小によってどのように変化するかを調べることにより、接近追従走行時の危険補償行動の有無とその程度を明

*正会員 大阪大学助手 工学部土木工学科
(〒565大阪府吹田市山田丘2-1)

らかにすることを目的とした。

追従走行中のドライバーの反応時間と注視行動に関する従来の研究としては、次のような研究が挙げられる。従来より、運転行動や後部燈火器のデザインを評価するために、各種刺激に対するドライバーの反応時間が調べられた。谷島³⁾は前車に5種類の形の刺激を表示し、追従ドライバーの単純反応時間および選択反応時間が走行時間の増加に伴ってどのように変化するかを調査した。Sivak⁴⁾⁵⁾は制動燈の数、配置パターンおよび車間距離の大小が追従ドライバーの制動燈点灯に対する反応時間にいかなる影響を与えるかを解析した。そこでは、本研究で注目している車間距離が要因として取り上げられているものの、車間距離小-低速、車間距離大-高速の組合せで実験がおこなわれており、車間距離の影響を独立してみることはできない。ドライバーの注視行動を取り扱った研究は数多くあるものの、追従走行時のドライバーの注視行動を直接問題としたものは少ない。Sivak⁶⁾は混雑した低速の流れの中で、追従ドライバーの注視点分布を調べ、補助制動燈の最適な設置位置を検討するとともに、補助制動燈の追突事故防止効果を考察した。

以上のように、追従ドライバーの反応時間や注視行動が研究されているものの、それらを高速追従走行の危険性と関連づけた研究例はみあたらない。

2. 制動燈点灯に対する反応時間

高速度下での追従走行時において、車間距離の変化につれて制動燈点灯に対する反応時間がどのように変化するかを明らかにする。

(1) 実験の概要

a) 反応時間の測定法

前車制動燈点灯に対する追従ドライバーの反応は「ハイ」という音声を用い、この音声に反応して発光ダイオードが発光するような装置を作成した。後車内にはビデオカメラを据えておき、制動燈と発光ダイオードが1つの画面にはいるようにして、1/100 秒単位のタイマーを組み込んで、2つのランプの点滅減況を撮影記録したそして、ビデオ画像のコマ送りによって2つのランプの点灯時間差を計測し、反応時間とした。

b) 走行条件

供用中の中国自動車道において、昼間時に2台の乗用車を用いて追従走行状態を形作った。前車は60～100 km/hの範囲内で順次速度を選びながら一定時間定速走行をおこなった。後車は速度を前車に合わせ、指示された車間距離を維持しながら前車に追従し続けた。

c) 測定手順

前車にはドライバーだけが乗り、運転しながら手動式スイッチにより制動燈の点灯（輝度値11,000 cd/m²）を繰り返し行なった。後車には4人が乗り、被験者が運転をし、他の3人はそれぞれ音声反応時の速度と車間距離を記録し、他の1人はビデオ撮影をおこなった。

被験者は通常の運転状態で運転するように指示され、前車の制動燈が点灯しだいすみやかに反応するように教示された。約3時間の連続追従運転をおこなった。データは被験者1人につき300前後が得られた。被験者は毎日運転し、高速道路の走行経験もある20歳代の男女5名であった。

(2) 反応時間の変動特性

a) 変動要因

既往の研究によれば反応時間は、人間的要因、心理的・生理的要因、刺激要因などにより大きく変動することが明らかにされているが、車間距離や速度がいかなる影響を与えるかは不明である。表-1は追従走行時の前車制動燈点灯に対する反応時間について車間距離、速度、被験者を要因とした分散分析を示したものである。寄与率は小さいものの、車間距離と被験者が有意な要因となっている。速度は有意な要因となっていない。

以下において、反応時間と速度、車間距離の関係を詳細にみることにする。

表-1 分散分析表

要因	変動	自由度	分散	分散比	寄与率
車間距離 L	299.260	2	149.63	70.19**	8.0%
速度 V	1.543	1	1.54	0.72	0
被験者 H	265.685	4	66.42	31.16**	7.0
L*V	21.926	2	10.96	5.14	0.5
L*H	25.220	8	3.15	1.48	0.2
V*H	3.459	4	0.86	0.41	0
L*V*H	8.708	8	1.09	0.51	0
残差	3033.728	1423	2.13		84.3

** は有意水準 1% で有意

b) 速度と反応時間の関係

図-1は速度を80km/h以上と以下に区分して、全被験者についての反応時間分布を示したものである。ほとんど両分布に相違はみられず、今回のような高速度域(60~100km/h)においては、反応時間に対する速度の影響はないといえる。一定の車間距離で追従走行する場合、速度が高くなるほど、前車の減速に対する余裕時間は短くなり、ドライバーは制動燈点灯に対する反応を早めなければならないが、速度の高まりに対する補償行動はとられていないといえる。

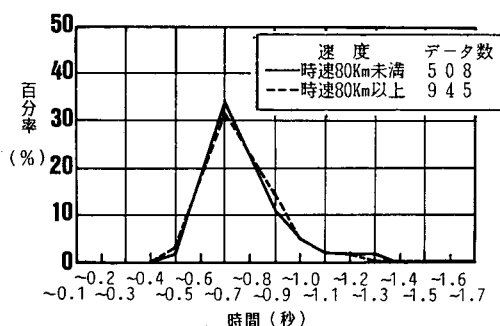


図-1 速度別反応時間分布(全被験者)

c) 車間距離による反応時間の変化

図-2は、車間距離を短(~20m)、中(20~50m)、長(50m~)の3つに区分し、各距離帯の反応時間分布を示したものである。また、図-3は車間距離帯毎の反応時間の平均と標準偏差を示したものである。図-3には、停止時の反応時間も比較のため示されている。これらの図より、つぎのことがいえる。追従走行時の反応時間は車間距離によって変化し、車間距離が短くなるほど反応時間も短くなる傾向を示し、特に、20m以下の短い車間距離において顕著である。3つの車間距離帯の平均反応時間について、差の多重比較検定⁷⁾をおこなった結果、すべて有意水準5%で有意であった。

車間距離が短くなるにつれて反応が速くなることに対して、刺激である制動燈自体の見え方が大きくなることの影響が考えられるが、車間距離が短くなることによる停止時の反応時間の短縮は小さく、その影響はほとんど無いものとみなせる。したがって、前車制動燈点灯に対する反応が速くなることは接近

追従時の危険に対するドライバーの補償行動の現れといえる。

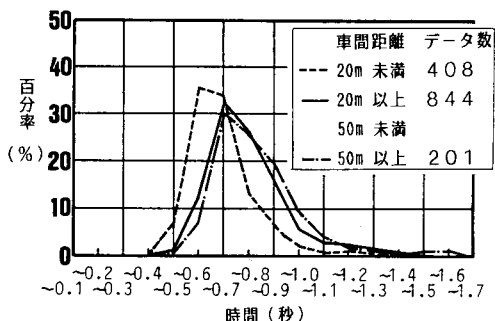


図-2 車間距離帯別反応時間分布(全被験者)

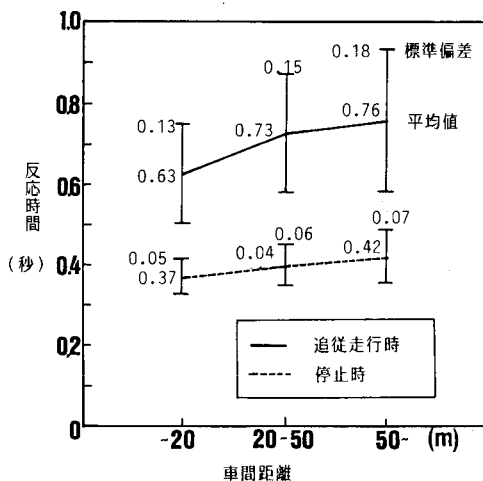


図-3 車間距離帯別反応時間(全被験者)

3. 追従走行時の注視行動

車間距離の大小によって追従走行時のドライバーの注視点分布にどのような相違がみられるか。また、前車の制動燈点灯の認知遅れの可能性はいづれの車間距離において高くなるかを検討する。

(1) 実験の概要

a) 実験方法

昼間時に中国自動車道において、被験者が実験乗用車を運転し、定速で走行中の一般乗用車をターゲットとして、安定追従走行状態を形作った。追従走行時の速度は70~100km/hの範囲であった。車間距離は短(15m前後)、中(35m前後)、長

(60m前後)の3種類に設定した。被験者は指定された車間距離を維持して数分間追従走行することを繰返し要請された。そして、その間の被験者の注視点の動きをアイカメラ(ナック製IV型)と8ミリカメラを用いて18コマ/secで撮影記録した。また、同乗の測定員が撮影中の車間距離と速度を記録した。被験者は毎日運転している男性3名であったが、1名分のデータは不鮮明で解析不能であった。

b) データ作成法

撮影されたフィルムの中から解析対象とする直線区間を数区間抽出した。抽出された区間のフィルムをスクリーンに映写し、前車、レーンマークおよび1度刻みのメッシュの描かれた透明板を前車の像と一致するようにスクリーン上に重ね、コマ送りしながら注視点の位置を読み取った。

(2) 追従走行時の注視点分布

前車の制動燈を中心とした1度刻みの視野帯を設定し、車間距離毎に各視野帯における注視点の頻度を求めた。図-4、5は2人の被験者について、車間距離帯別に制動燈を中心とした注視点分布の累積比率を示したものである。車間距離の大小によって注視点の分布に相違がみられる。車間距離の短い場合の方が制動燈近傍を注視している割合は低いが、また、制動燈となす視角が4度以上のところを注視する割合も低くなる傾向がみられる。

つぎに、この分布の相違を追従走行の安全性の面から検討する。三浦⁸⁾は、運転中注視移動をおこなわずにフロントガラス前面の小光点を認知できる視野範囲を求め、視角5度以上において認知率が急激に低下することを明らかにした。したがって、ここでは前車の制動燈から視角5度以上のところを注視している場合には、制動燈点灯に気付かないものと考えことにした。表-2は、前車制動燈から視角5度以上離れる注視点の比率を車間距離別に示したものである。車間距離が短い場合に、この比率は小さくなっている。このことより、ドライバーは

表-2 前車制動燈から視角5度以上の注視点比率

車間距離	短 (15m前後)	中 (35m前後)	長 (60m前後)
M	2.6%	6.8	5.8
T	0.4	0.8	1.0

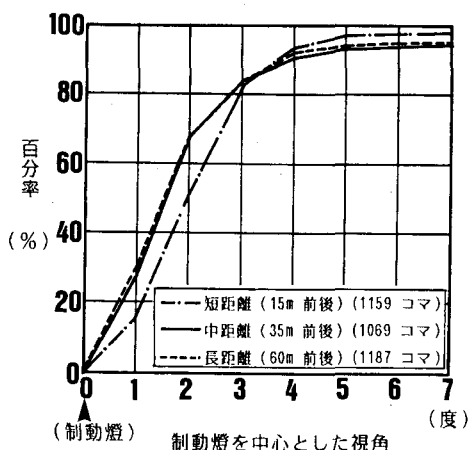


図-4 車間距離帯別注視点の累積分布(被験者M)

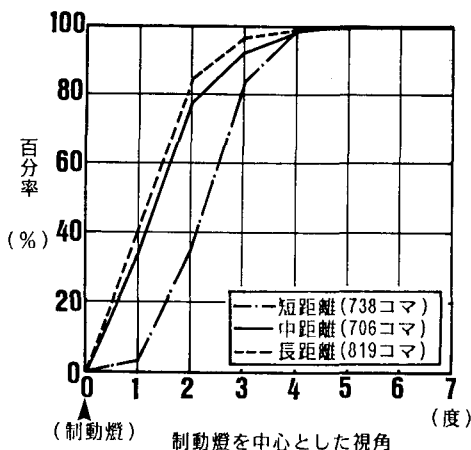


図-5 車間距離帯別注視点の累積分布(被験者T)

接近追従走行時には注視行動においても追突危険に対する補償行動を多少なりとおこなっているといえる。

4. 接近追従走行時の危険補償行動の評価

ここでは、2. で示した制動燈点灯に対する反応時間の短縮行動について、その補償の程度を評価する。

(1) 平均反応時間を用いた評価

安定追従走行時に前車が減速したとき、追突しないためにはドライバーは次式に示す反応時間(t)以下で減速行動をおこなわなければならない。

$$t = \frac{1}{v} - v \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1} \right) / 2 \quad (1)$$

l : 車間距離
 v : 前車および後車の速度
 β_1 : 前車の減速度
 β_2 : 後車の減速度

$\beta_1 = \beta_2$ とすると

$$t = l / v \quad (2)$$

いま、2. の反応時間実験において、車間距離短（～20m）、中（20～50m）で出現頻度の高かった $l = 15\text{m}$ と $l = 35\text{m}$ の2つの車間距離について（2）式より反応時間を求めることにする。高速道路における通常速度 $v = 80\text{km/h}$ について反応時間を求めると $l = 15\text{m}$ のとき $t = 0.68\text{sec}$ 、 $l = 35\text{m}$ のとき $t = 1.58\text{sec}$ となり、車間距離が $35 \rightarrow 15\text{m}$ と短くなることによって反応時間は 0.9sec 短縮されることが必要となる。一方、車間距離中と短での前車制動燈点灯に対する平均反応時間の短縮時間は 0.1sec であった。両短縮時間の比を求めると 0.111 となり、ドライバーは接近追従走行において危険補償行動をおこなっているものの、その補償の程度は小さく、接近追従走行は追突危険性を秘めた危険な走行となっている。

（2）確率分布を用いた評価

つぎに、前車制動燈に対する反応時間のばらつきを考慮した危険補償行動の評価をおこなった。評価の方法はつぎのように考えた。まず、車間距離帯別の反応時間分布に適合する確率分布を見出す。つぎに、設定された車間距離と速度の下で前車の減速

に対して追突しないための最大反応時間を求め、確率分布を用いてこの反応時間より大きい反応時間の生じする超過確率を求める（図-6）。そして、車間距離の大、小における超過確率の比を求め、その比が1以上ならば危険補償なし、1以下なら補償有りと評価する。この様な考えの下で、評価をおこなった結果を以下に示す。反応時間分布には式（3）

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(t-t_0)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{\lambda_n(t-t_0)-\lambda}{\sigma}\right]^2\right] \quad (3)$$

σ, λ : パラメータ
 t_0 : 最少反応時間（実験データより、 0.4sec と設定）

の対数正規分布をあてはめた。その適合度を示したのが図-7、8であり、あてはまりは良好といえる。ここで、実験時に出現頻度の高かった 15m と 35m を車間距離短（～20m）と中（20～50m）の代表車間距離とし、両車間距離における反応時間分布は図-7、8と同じであると考え。つぎに、高速道路における通常追従速度 80km/h について、車間距離 15m と 35m のときの追突しない最大反応時間を求める。前車、後車とも普通乗用車を対象としており、両車の速度および減速度は同一と考えられることより、最大反応時間は4.(1)で示したように 0.68sec と 1.58sec である。ここで、実験で計測した反応時間は制動燈点灯に対する音声反応であり、

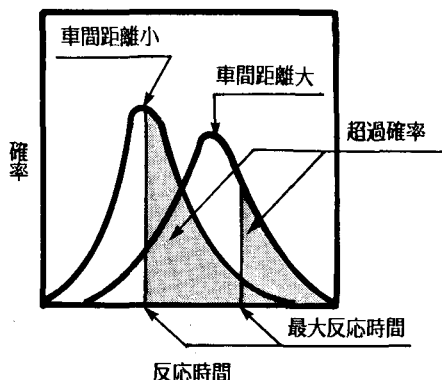


図-6 反応時間の確率分布と超過確率

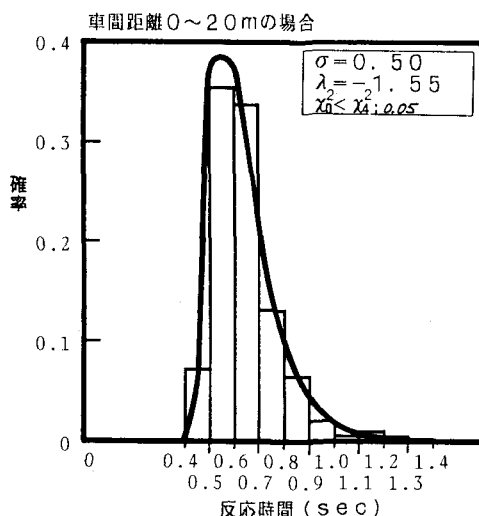


図-7 反応時間分布の実測値と理論値

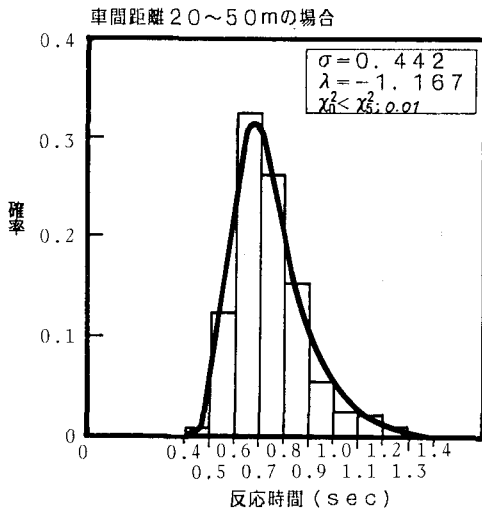


図-8 反応時間分布の実測値と理論値

ブレーキペダルを踏み込むまでの反応時間ではないので別途、両者の差を計測した結果、音声反応の方が0.16 sec 早くなっていた。よって追突しない最大反応時間から0.16 sec を引いた0.52 sec と1.42 sec について、その超過確率を図-7、8に示した対数正規分布を用いて求めた。超過確率は、それぞれ0.873、0.004となり両者の比は0.873/0.004=218となる。

以上のことより、ドライバーは接近追従走行時の危険に対して、制動燈点灯に対する反応を早めるといった補償行動をおこなってはいるが、車間距離15mのときの超過確率は35mのときのそれに比べ218倍も高くなっていることより、車間距離が35→15mと短くなることにより生じる追突危険の増大をカバーする効果は全くなく、接近追従走行は極めて危険性の高い走行となっている。

5. まとめ

高速道路における交通量の増大とともに走行車両相互の軋轢も強まってきており、その結果、高速での接近追従走行が常態化している。本研究は、接近追従走行時の追突危険に対してドライバーがいかなる補償行動をおこなっているかを実験的に明らかにするとともに、補償行動の評価をおこなったものである。その結果は、次の通りである。

①車間距離が短くなるにつれて、前車制動燈点灯に短する反応時間は早くなり、特に20m以下の接近追従走行において顕著となる。

②追従ドライバーの視線が前車制動燈から視覚5度以上の位置にあって、制動燈点灯を発見しにくくなる比率は、車間距離が短くなるほど小さくなっている。

③このように、接近追従走行時には反応行動、注視行動の両面において補償行動がとられている。

④しかし、その補償行動は、接近追従により生じる危険を補う上では微々たるものである。

高速時の接近追従走行は、ドライバーがいかに注意レベルを上げ、身構えた運転行動をおこなっているようにも、前車の急減速には対処できない走行といえる。追突事故の防止はドライバーの運転行動に負うところ大であり、認知、反応における弱点を視覚装置を用いて訴え、危険の存在を再認識させることが必要といえる。

今後の課題としては、今回のデータをさらに充実させるとともに、接近追従走行時の一般ドライバーの行動観察をおこない、危険補償行動を更に究明することが挙げられる。

最後に、いつも暖かい御指導をいただいています大阪大学教授毛利正光先生に感謝するとともに、実験、解析に協力いただいた大阪大学技官谷敦司氏、学部生東君（現、山一証券）に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中聖人：高速道路における接近追従走行出現の背景分析、土木計画学研究・論文集、no.4, 1986
- 2) 上記1)
- 3) 谷島一嘉：生体情報の活用、IATSS review vol.2, no.2, 1976
- 4) MICHAEL SIVAK, DAVID V. POST, PAUL L. OLSON, & ROBERT J. DONOHUE: DRIVER RESPONSES TO HIGH-MOUNTED BRAKE LIGHTS IN ACTUAL TRAFFIC, HUMAN FACTORS, 23(2), 1981
- 5) MICHAEL SIVAK, DAVID V. POST, & L. OLSON: AUTOMOBILE REAR LIGHTS: EFFECTS OF THE NUMBER,

MOUNTING HIGHT, & LATERAL POSITION ON
REACTION TIMES OF FOLLOWING DRIVERS,
PERCEPTUAL & MOTOR SKILLS, 52, 1981

6) MICHAEL SIVAK, LARRY S. CONN, & PAUL L.
OLSON: DRIVER EYE FIXATIONS & THE OPTIMAL
LOCATIONS FOR AUTOMOBILE BRAKE LIGHTS,
JOURNAL OF SAFETY RESEARCH, VOL. 17, 1986

7) 山内光哉: 心理・教育のための統計法、p140～
143、サイエンス社、1987

8) T. MIURA: COPING WITH SITUATIONAL
DEMANDS: A STUDY OF EYE MOVEMENTS &
PERIPHERAL VISION PERFORMANCE, VISION IN
VEHICLES, 1986